

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

#16/
Priority

REC'D 18 JUL 2001

WIPO PCT

9/2/03
+bye**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 101 16 996.5
Anmeldetag: 05. April 2001
Anmelder/Inhaber: Dr. Norbert Lauinger,
Wetzlar/DE
Bezeichnung: Gitteroptischer Sensor
Priorität: 08.05.2000 DE 100 22 349.4
IPC: G 01 J, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Juni 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

Wallner

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



Gitteroptischer Sensor

Die Erfindung betrifft einen gitteroptischen Sensor mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

- Ein solcher Sensor ist aus WO 97/22 849 bekannt. Er ist zur genauen
- 5 Bestimmung von räumlichen und/oder zeitlichen Abständen in fokussierten Bildfolgen eines Linsen-Pupillen-Systems und/oder von räumlichen und/oder zeitlichen Objektparametern in Echtzeit, wie z.B. der Geschwindigkeit oder Tiefe, vorgesehen. Auf der Grundlage eines 3D-Gitters wurden auch schon Modellrechnungen zur invertierten
- 10 Retina des menschlichen Auges durchgeführt und mit aus dem menschlichen Sehen bekannten subjektiven Phänomenen in Beziehung gesetzt. In der bevorzugten Form hat das 3D-Gitter eine hexagonale Struktur. Andere Strukturen mit zentrosymmetrischen Beugungsbildern sind jedoch ebenso möglich.
- 15 Seit den Untersuchungen von O. Lummer und der industriellen Entwicklung von tageslichtähnlichen Beleuchtungskörpern liegt die Erfahrung vor, daß zwischen Sonnenlicht und menschlichem Sehen eine bisher unerklärte Resonanz besteht. Hieraus resultierten alle bisherigen Empfehlungen, das Spektrum der künstlichen Lichtquellen
- 20 dem Sonnenlichtspektrum anzunähern. Insbesondere treten bei der Farbwahrnehmung im photopischen Tagessehen beim Wechsel von Beleuchtungen mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung der Strahlung Verschiebungen der Farbwerte auf, die adaptiv im

menschlichen Sehen nach kürzerer oder z.T. längerer Zeit durch näherungsweise Farbkonstanz-Leistungen des Auges ausgeglichen werden. Als unvollständiges Erklärungsmodell hierfür dient derzeit das v.Kries-Modell, das die Adaptivität den Sehpigmenten der Retina zuspricht. Daneben bestehen noch unvollständigere kortikale Erklärungsmodelle anderer Autoren.

Andererseits ist vielfach dokumentiert worden, daß der photopische Sehprozeß nicht allein durch die spektralen Hellempfindlichkeiten der einzelnen Zapfen charakterisiert werden kann. Die sehr viel komplexere Arbeitsweise des Sehsinns erfordert zur Beurteilung vieler Sehaufgaben die Kenntnis der Leuchtdichteverteilung im gesamten Sehfeld. Das menschliche Sehen basiert nicht auf dem Reiz-Reaktionsverhalten einzelner Pixel. Es verrechnet die relativen Werte über das gesamte Gesichtsfeld. Neben chromatischen Adaptationseffekten beeinflußt Streuung von Licht an Augenmedien die Ausdehnung der den Farbenraum zentrierenden achromatischen Achse (Schwarz-Grau-Weiß-Achse). Es ist deshalb illusorisch zu glauben, daß Spektralphotometer, selbst wenn sie auf die Erfassung überlappender RGB-Werte ausgelegt sind, die idealen Instrumente der zukünftigen Farbmatrik und Farbbestimmungen darstellen werden. Ebenso unvollständig ist eine Farbmeßtechnik, die darauf verzichtet, jeweils die Trias Helligkeit / Farbton / Sättigung gleichzeitig und unter Bezug auf ein Ganzfeld zu bestimmen.

Der Bedarf wächst daher, in Zukunft über Farbsensoren zu verfügen, die Farbwerte unter Bezug auf die spektralen Empfindlichkeitskurven des menschlichen Sehens messen können und unter Adaptation an künstliche Beleuchtungen eine dem menschlichen Sehen entsprechende näherungsweise Farbkonstanz gewährleisten. Der

Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen solchen Sensor zu schaffen.

Diese Aufgabe wird bei einem gitteroptischen Sensor der eingangs genannten Art durch die kennzeichnenden Merkmale des

- 5 Vorrichtungsanspruchs 1 und des Verfahrensanspruchs 15 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Merkmalen der zugehörigen Unteransprüche.

- 10 Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, daß durch Einlagerung eines diffraktiven Mehrschichten- (3D-) Gitters in die Bildebene eines abbildenden Linsen-Pupillen-Systems im Nahfeld hinter dem Gitter (Fresnel-/Talbot-Raum; Fourierraum bzw. reziprokes Gitter) drei chromatische Beugungsordnungen (RGB-Tripel) mit jeweils sechs diskreten Interferenzmaxima auf zueinander konzentrischen Kreisen verfügbar werden, wie sie bei hexagonaler Gitterstruktur durch die aus
15 der Kristalloptik bekannte v.Laue-Gleichung beschrieben werden.

Die v.Laue-Gleichung für diffraktive Raumgitter verlangt für das Zustandekommen konstruktiver Interferenzmaxima die gleichzeitige Erfüllung der drei Phasenbedingungen in der Gleichung | 1 |

20
$$\begin{aligned} (\cos\alpha - \cos\alpha^0) &= h_1 \lambda / g_x \\ (\cos\beta - \cos\beta^0) &= h_2 \lambda / g_y \\ (\cos\gamma - \cos\gamma^0) &= h_3 \lambda / g_z \end{aligned} \quad | 1 |$$

- $(h_1 h_2 h_3 = \text{Tripel ganzzahliger Beugungsordnungen; } \alpha^0, \beta^0, \gamma^0 =$
Aperturwinkel der in das 3D-Gitter einfallenden Lichtkegel zu x,y,z; α, β, γ
= Winkel der Beugungsordnungen zu x,y,z; λ = Wellenlänge; $g_x, g_y, g_z =$
25 Gitterkonstante in x-,y-,z-Achsenrichtung). Legt man eine hexagonale Packung der lichtbeugenden Elemente und Gitterkonstantenmaße in μm von $g_x = 2\lambda_{111}$, $g_y = 4\lambda_{111}/\sqrt{3}$, $g_z = 4\lambda_{111}$ zugrunde, so stellt λ_{111}

in Gleichung |2| die mit maximaler Transmission in die 111-Beugungsordnung gebeugte Wellenlänge dar.

$$\lambda_{111} = \frac{2 \left(\frac{h_1}{g_x} \cos \alpha^\circ + \frac{h_2}{g_y} \cos \beta^\circ + \frac{h_3}{g_z} \cos \gamma^\circ \right)}{\frac{h_1^2}{g_x^2} + \frac{h_2^2}{g_y^2} + \frac{h_3^2}{g_z^2}} \quad |2|$$

5

Bei senkrechtem Lichteinfall ($\alpha^\circ = \beta^\circ = 90^\circ$, $\gamma^\circ = 0^\circ$) resultiert im sichtbaren Spektralbereich (380-780 nm) ein Tripel chromatischer Beugungsordnungen

- 10 λ_{111} (längste Wellenlänge) ROT
 λ_{123} (mittlere Wellenlänge) GRÜN
 λ_{122} (kürzere Wellenlänge) BLAU

- 15 Die spektralen Transmissionskurven, die zu je einer dieser λ_{\max} zentriert sind, besitzen Gauß'sche Form und werden in ihrer Halbwerts-Breite durch die Anzahl der im 3D-Gitter vorhandenen Flächengitter in z-Richtung bestimmt. Beim Einfall von weißem Licht, d.h. in allen spektralen Komponenten energiegleichem Licht in das in die Bildebene des abbildenden Systems eingelagerte Gitter ergibt sich bei Wahl von $\lambda_{111} = 559 \text{ nm}$ die Trichromatik der Beugungsordnungen bei

- 20 $\lambda_{111} \text{ ROT} = 559 \text{ nm}$
 $\lambda_{123} \text{ GRÜN} = 537 \text{ nm}$
 $\lambda_{122} \text{ BLAU} = 447 \text{ nm}$

- 25 Es liegt damit eine trichromatische Stimmung des 3D-Gitters vor, die auf der resonatorischen Einstellung der Gitterkonstanten g_x und g_z auf ganzzahlige λ_{111} beruht und in der in den RGB-Beugungsordnungen

ein trichromatisches Gleichgewicht der Helligkeitswerte (Patterson-Amplituden²-Gewichte) zustandekommt.

Bei adaptiver chromatischer Umstimmung des 3D-Gitters auf eine andere als eine weiße Beleuchtung bleibt die Relation der RGB- λ_{\max} (1 : 0,96 : 0,8 bzw. 25 : 24 : 20) stets erhalten. Die λ_{111} als die das Tripel determinierende Resonanzwellenlänge shiftet beim Wechsel zu einer blauen Beleuchtung zu kürzeren, beim Wechsel zu einer roten Beleuchtung zu längeren λ_{111} -Wellenlängen. Die adaptive Shift endet mit der vollständigen Adaptation an die neue Beleuchtung, d.h. mit dem resonatorischen Auffinden eines neuen RGB-Gleichgewichts, der trichromatisch-additiven Weißnorm, die den Farbenraum neu zentriert. Der eigentliche Resonanzfaktor ist die Phasengeschwindigkeit $n\lambda = c$ (n = Brechungsindex des Mediums, ν = Frequenz des Lichts, c = Lichtgeschwindigkeit).

Die Grundlage für die Farbkonstanzleistung des 3D-gitteroptischen Sensors bei Adaptation an variable Beleuchtungen bildet die folgende neue Ausgestaltung des Sensoraufbaus.

In die Pupillenebene (Aperturraum) der Abbildungsoptik werden eine Streuscheibe bzw. ein oder mehrere lichtstreuende Gitter eingelagert. Deren Funktion ist darin zu sehen, daß sie die an jedem Ort in der Pupille gleichermaßen vorliegende Information, nämlich die Summe der spektralen Intensitäten und Ortsfrequenzwerte, die von sämtlichen Gegenständen im Objektraum in die Pupille eingestrahlt werden und zur optischen Abbildung beitragen, diffus als inkohärenten Untergrund in die Bildebene streuen. Dadurch wird jedem lokalen Bildort die globale Information über das gesamte Gesichtsfeld (Ganzfeld) unterlegt, gegenüber der sich jeder lokale Bildpunkt absetzen muß, indem er sich von ihr differenziert, und zwar in Helligkeit, Farbton, Sättigung u.a..

Damit aber bleibt jede lokale Information auf dem globalen Untergrund des Ganzfeldes relativiert.

Sämtliche Linsen, Streuscheiben oder Gitter werden so ausgelegt, daß sie ausschließlich für elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Spektrum (380-780 nm) transparent sind und somit diese eine Oktav der Wellenlängen bzw. Frequenzen mit eindeutigen Absorptionskanten abgrenzen. Diese Randbedingung ist deshalb von Bedeutung, weil damit spektrale Helligkeitswerte, die durch Variation der Beleuchtung zustande kommen könnten, an diesen Absorptionskanten abgeschnitten werden.

Im Nahfeld hinter dem diffraktiven 3D-Gitter werden die einem lokalen Bildpunkt zugeordneten RGB-Interferenzmaxima (3x6 konzentrische Maxima) derart über in ihrer spektralen Empfindlichkeit konstant auf weißes (in allen spektralen Komponenten energiegleiches) Sonnenlicht eingestellte Photoempfänger zusammengeschaltet, daß eine lokale RGB-Summe als trichromatisch-additiver Helligkeitswert mittels einer entsprechenden Auswertung gebildet werden kann. Hierdurch werden RGB-Gleich- und -Ungleichgewichte differenzierbar. RGB-Gleichgewichte entsprechen im Objektraum sichtbaren farblosen Oberflächen oder Beleuchtungen (Schwarz-Grau-Weiß-Objekten). Sind Beleuchtungen nicht sichtbar, sondern nur über farblose Gegenstände oder Oberflächen erschließbar, so werden sie in ihrer spektralen Charakteristik durch graue oder weiße Flächen, sog. Spiegel der Beleuchtungen, repräsentiert. Der Bildort mit einem RGB-Gleichgewicht, der die größte Summenhelligkeit erreicht, liefert die sog. Weiß-Norm und definiert damit die Spitze der den Farbenraum zentrierenden achromatischen Achse. Ersatzweise übernimmt der Bildort, dessen RGB-Werte sich einem Gleichgewicht am meisten

nähern, diese Bereitstellung einer Weiß-Norm. Hieraus erklärt sich, daß sich die Weiß-Norm im trichromatischen Raum verlagern kann.

Diese Auslegung eines diffraktiven 3D-gitteroptischen Sensors, der trichromatische RGB-Werte in drei Beugungsordnungen bereitstellt, gewährt Farbkonstanz, wenn mit dem plötzlichen oder allmählichen Wechsel der Beleuchtung im Objektraum ein resonatorischer, d.h. an die spektrale Zusammensetzung der Beleuchtungen adaptiver Mechanismus im 3D-Gitter gewährt wird, der einer chromatischen Stimmung des 3D-Gitters entspricht. Bei einer weißen Beleuchtung, d.h. einer dem mittleren Sonnenlicht entsprechenden energiegleichen spektralen Zusammensetzung des sichtbaren Lichts sind die drei Gitterkonstanten in xyz-Achsenrichtung auf die ROT-Wellenlänge (559 nm) gestimmt, mit stehender Wellenbildung in x- und z-Achsenrichtung, d.h. Resonanz im 3D-Gitter. Damit resultieren unter den drei Gauß'schen spektralen Hellempfindlichkeitskurven der Photorezeptoren (Zapfen im menschlichen Sehen) identische Werte, d.h. RGB-Gleichgewichte. Die Weiß-Norm wird über die RGB-Summenwerte der drei Gaußkurven bestimmt, die zu den Wellenlängen 559 nm ROT / 537 nm GRÜN / 447 nm BLAU zentriert sind.

Nach einem plötzlichen oder allmählichen Wechsel der Beleuchtung findet ein chromatisch getriggelter Umbau der Gitterkonstanten im diffraktiven 3D-Gitter statt. Bei einer Verschiebung der Beleuchtung zum längerwelligen Bereich des Spektrums hin bricht die Weiß-Norm in dem noch auf 559 nm ROT gestimmten 3D-Gitter plötzlich zusammen. Greift dann der adaptive Mechanismus der Shift der Weiß-Norm in Richtung der geänderten Beleuchtung, so erreicht das Gitter bei einer chromatischen Stimmung auf z.B. 728 nm ROT ein neues RGB-Gleichgewicht. Damit ist der trichromatisch-additive Farbenraum erneut

zu einer achromatischen Achse zentriert, die Farben stimmen wieder, sie werden als stimmig erlebt.

Wird dagegen die Beleuchtung zum kürzerwelligen Spektrum hin verschoben, so erreicht das Gitter z.B. bei einer chromatischen

5 Stimmung auf 513 nm ROT ein neues RGB-Gleichgewicht.

Der adaptive Prozeß, der im Ergebnis zu einer trichromatischen Neunormierung des Farbenraums in einer veränderten Weiß-Norm führt, ist durch die bereits erläuterte v.Laue-Gleichung der Kristalloptik beschreibbar. Der eigentliche Resonanzfaktor ist die

10 Phasengeschwindigkeit im Medium. Die spektrale Triggerung der Gitterkonstantenmaße entspricht dem Temperatur-

Ausdehnungskoeffizienten für die ROT-Wellenlänge im RGB-Tripel.

Durch dosierte IR-, also thermische Einstrahlung in das 3D-Gitter oder durch Veränderung des Innendrucks im 3D-Gitter ist es möglich, die

15 Gitterkonstantenmaße entsprechend zu verändern. Der erfindungsgemäße Sensor kann damit die Farbkonstanzeigenschaften des menschlichen Sehsystems gewährleisten.

Ein Farbkonstanz-Sensor, der in Form eines mit dem Schwerpunkt der spektralen Komponenten einer Lichtquelle bzw. Beleuchtung

20 resonanzfähigen 3D-Gitters bzw. Vorverarbeitungsfilters technisch dargestellt wird, hat für alle Anwendungen, in denen die Farbe von

Stoffen und Materialien nach dem Farbeindruck, dem die Gesetzmäßigkeiten des menschlichen Farbensehens zugrunde liegen, erkannt, differenziert und klassifiziert werden müssen, große

25 Bedeutung. Das gilt auch für dementsprechende Beurteilung von an die Farbtoncharakteristiken gebundene Eigenschaften sichtbarer Objekte, sei es in der optischen Bildverarbeitung generell, sei es bei Sehautomaten in der Robotik oder autonom fahrenden Fahrzeugen, ja selbst bei Blindensensoren. Gleichzeitig vermag ein solcher Sensor

Farbwahrnehmungen unter künstlichen Lichtquellen vorhersehbar und meßbar zu machen. Da ein derartiges 3D-Gitter eine Transformation der physikalischen Parameter (Intensität und Wellenlänge) in die psychologischen Trias von Helligkeit, Farbton und Sättigung leistet, werden mit Hilfe des Sensors auch Helligkeits- und Sättigungswerte von Objektoberflächen kalkulierbar.

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen gitteroptischen Sensors ist in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird anhand der Figuren beschrieben. Dabei zeigen:

- 10 Fig.1 den Aufbau des Sensors,
Fig.1a die Aufsicht auf ein zentrosymmetrisch trichromatisches Beugungsbild,
Fig.2 die Adaption an eine weiße Beleuchtung,
Fig.3 die Adaptation an eine rote Beleuchtung,
15 Fig.4 den Ablauf des Adaptationsvorgangs an eine rote Beleuchtung,
Fig.5 die Adaptation an eine blaue Beleuchtung und
Fig.6 den Ablauf des Adaptationsvorgangs an eine blaue Beleuchtung.
- Der in Fig.1 schematisch dargestellte gitteroptische Sensor enthält als Linsen-Pupillen-System ein abbildendes Objektiv 1. Dieses bildet ein sichtbares Objekt 2, das von einer weißen Licht emittierenden Strahlungsquelle 3 beleuchtet wird, aus dem Objektraum auf ein diffraktives 3D-Gitter als Modulator 4 mit den Gitterkonstanten g_x , g_y , g_z in der Bildebene 5 ab. Durch Beugung im hexagonalen 3D-gitteroptischen Modulator 4, Resonanz zwischen λ_{111} und den
20 Gitterkonstanten sowie Interferenz im Nahfeld hinter dem Modulator 4
25 resultieren in bekannter Weise für jedes abgebildete Objekt 2 im sichtbaren Spektrum drei chromatische RGB-Beugungsordnungen im

- Beugungsbild 6 mit je sechs konzentrischen Maxima (Patterson-Gewichte). Diese sind in Fig.1a für ein auf der optischen Achse 7 des Sensors liegendes Objekt 2 in der Aufsicht nochmals dargestellt. Dabei liegen auf dem inneren Ring die rote (R), auf dem mittleren Ring die
- 5 blaue (B) und auf dem äußeren Ring die grüne (G) Beugungsordnung.
- Jeder Beugungsordnung ist ein fotoelektrischer Empfänger 8 zugeordnet. Alle Empfänger 8 sind auf gleiche spektrale Empfindlichkeit für eine weißes Sonnenlicht emittierende Strahlungsquelle 3 eingestellt.
- Außerhalb der optischen Achse 7 liegende Objekte liefern gleiche
- 10 Beugungsbilder 6, die auch ineinander verschachtelt sein können. Die Auflösung der Abbildung hängt von den Gitterkonstanten des 3D-Gitters ab. Jedem Beugungsbild ist ein bestimmtes Objekt zugeordnet.
- In die Pupillenebene des Objektivs 1 oder einer dazu konjugierten Ebene ist eine Streuscheibe 9 eingefügt. Diese kann vorteilhafterweise
- 15 eine beugende Gitterstruktur aufweisen. Da durch jeden Ort der Pupille Abbildungsstrahlen von allen Objekten im Objektraum hindurchlaufen, werden über jedes Streuzentrum aus der Pupillenebene heraus Bildinformationen aus dem gesamten Objektraum gleichzeitig über die Bildebene verteilt. Jedem lokalen Bild eines Objektes sind daher
- 20 Informationen über das Gesamtbild überlagert. Die Streucharakteristik der Streuscheibe 9 ist so zu wählen, daß eine möglichst gleichmäßige Streuung über das gesamte Bildfeld erfolgt und eine Abbildung des lokalen Objekts auf dem durch Streuung erzeugten Hintergrund erhalten bleibt.
- 25 Die spektrale Durchlässigkeit des Objektivs 1, der Streuscheibe 9 und des Modulators 4 sind auf den sichtbaren Bereich elektromagnetischer Strahlung, insbesondere auf den Wellenlängenbereich 380 – 780 nm, begrenzt.

Alle derselben Beugungsordnung R, G, B zugeordneten Empfänger 8 eines Beugungsbildes 6 sind zur Bildung eines lokalen chromatisch-additiven Helligkeitwertes 10 zusammengeschaltet. In einem nachfolgenden Summenbildner werden daraus zusätzlich die lokalen trichromatisch-additiven Helligkeitwerte 11 erzeugt.

Die lokalen chromatisch-additiven und trichromatisch-additiven Helligkeitwerte 10, 11 des Beugungsbildes 5 und die entsprechenden Helligkeitwerte 10', 11' anderer Beugungsbilder werden einer Vergleichsanordnung 12 zur Ermittlung des Beugungsbildes mit bester Übereinstimmung der chromatisch-additiven Helligkeitwerte 10, 10' und gleichzeitig maximalem trichromatisch-additivem Helligkeitwert 11, 11' zugeführt. Die entsprechenden Helligkeitwerte des ausgewählten Beugungsbildes werden einem Weiß-Norm-Bildner 13 zur Erzeugung eines Weiß-Norm-Wertes zugeleitet. Die Übereinstimmung der drei chromatisch-additiven Helligkeitwerte bedeutet, daß es sich um ein nicht-farbiges Objektdetail handelt. Die Größe des trichromatisch-additiven Helligkeitwertes gibt eine Bewertung auf der Schwarz-Grau-Weiß-Skala an.

Die chromatisch-additiven Helligkeitwerte 10, 10' der einzelnen Beugungsbilder können auch einem Farbwert-Bildner 14 zugeführt werden. Die Summe der jeweils auf das Weiß-Norm-Signal bezogenen, z.B. mit dem Kehrwert der Weiß-Norm multiplizierten, drei unterschiedlichen chromatisch-additiven Helligkeitwerte bildet das Ausgangssignal für den lokalen Farbwert. Falls ein gemessener Weiß-Norm-Wert nicht vorliegt, kann die Farbbewertung auch durch Verhältnisbildung zu einem fiktiven Weiß-Norm-Wert (Standardwert) durchgeführt werden.

Der Prozeß der Weiß-Norm-Bildung kann permanent oder in periodischer Folge in einem Veränderungsmelder 15 überprüft werden.

Eine Veränderung der Beleuchtung führt entweder nur zu einer Änderung des trichromatisch-additiven Helligkeitswertes $11, 11'$ des für die Weiß-Norm ausgewählten Beugungsbildes unter Weiterbestehen eines RGB-Gleichgewichts. Der Weiß-Norm-Wert verschiebt sich dabei
5 nur auf der den Farbenraum zentrierenden achromatischen Achse für schwarz-grau-weiß Objekte.

Führt die Veränderung der Beleuchtung jedoch auch zu einem RGB-Ungleichgewicht in dem die Weiß-Norm bestimmenden Beugungsbild, so liegt die Ursache in einer Veränderung der spektralen
10 Zusammensetzung der Beleuchtung. Der Veränderungsmelder 15 stellt eine solche Veränderung fest und steuert einen Adapter 16, dem eine thermische Strahlungsquelle 17 zugeordnet ist. Durch Wärmestrahlung auf den Modulator 4 werden dessen Gitterkonstanten in Abhängigkeit vom thermischen Ausdehnungskoeffizienten solange verändert, bis der
15 Weiß-Norm-Bildner 13 einen neuen Weiß-Norm-Wert anzeigt. Dieser Adaptationsprozeß entspricht einer Neigung der den Farbenraum zentrierenden achromatischen Achse.

Fig.2 stellt zunächst die Adaptation an eine weiße Beleuchtung mit näherungsweise energieggleichen spektralen Komponenten dar. Die
20 Emissionsintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge ist im oberen Diagramm dargestellt. Ein diffraktives hexagonales 3D-Gitter liefert dabei drei Beugungsordnungen, deren Gauß'sche spektrale Transmissionskurven zu $\lambda_{111} = 559 \text{ nm}$ (ROT), $\lambda_{123} = 537 \text{ nm}$ (GRÜN) und $\lambda_{122} = 447 \text{ nm}$ (BLAU) zentriert sind. Dies entspricht der
25 Empfindlichkeit der Zapfen im menschlichen Tagessehen. Die im unteren Diagramm dargestellten Gauß'schen Kurven sind beschreibbar durch $a^{-1} \exp(-x^2)$ mit $x = (\lambda_{111} - \lambda)/n$ und $a = 0.92$ bei $n = 55$ für 111ROT, $a = 0.88$ bei $n = 53$ für 123GRÜN und $a = 0.56$ bei $n = 34$ für 122BLAU. Die achromatischen, d.h. grauen bis weißen, Objekte

- spiegeln die spektralen Eigenschaften der Beleuchtung im Objektraum wieder, insofern diese selbst unsichtbar ist. Das Produkt aus spektralen Intensitäten und spektralen Gauß-Kurven ergibt identische Helligkeitssummenwerte von je 33 % in den drei Beugungsordnungen.
- 5 Ihr RGB-Gleichgewicht liefert die Weiß-Norm, die den trichromatischen Farbenraum zentriert. In der nachstehenden Tabelle sind die Werte der spektralen Helligkeitsverteilung entsprechend der den Beugungsordnungen zugeordneten Gauß'schen Kurven für den Fall einer weißen Beleuchtung zusammengestellt.

Sichtbare Spektrum Wellen- länge (nm)	Spektrale Intensität d. Beleuchtung	Spektrale Helligkeitswerte			Summe RGB
		122 BLAU 447 nm	123 GRÜN 537 nm	111 ROT 559 nm	
400	600	156	1		157
410	625	337	2		339
420	650	612	6	1	619
430	600	830	12	3	845
440	700	1195	29	7	1231
450	850	1508	67	18	1593
460	880	1364	124	37	1525
470	870	991	203	69	1263
480	880	620	319	122	1061
490	820	300	430	185	915
500	840	135	592	289	1016
510	830	49	733	408	1190
520	820	15	844	539	1398
530	850	4	951	700	1655
540	840	1	951	810	1762
550	830		885	878	1763
560	800		749	869	1618
570	800		612	835	1447
580	800		466	752	1218
590	720		297	570	867
600	740		201	461	662
610	730		122	336	458
620	730		70	232	302
630	700		36	144	180
640	700		18	87	105
650	680		8	48	56
660	690		3	26	29
670	700		1	13	14
680	710			6	6
690	650			2	2
700	600			1	1
Sum	23235	8117	8732	8448	25297
%	100	32	35	33	100

- Fig.3 und Fig.4 stellen die Adaptation an eine ins Rote verschobene Beleuchtung dar. Die Emissionsintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge ist wiederum im oberen Bild und die der zugehörigen Gauß'schen spektralen Transmissionskurven im unteren Bild der Fig.3
- 5 dargestellt. Die 3D-gitteroptische Adaptation an eine rote Beleuchtung führt über eine chromatische Stimmung der drei Gitterkonstanten auf $\lambda_{111} = 728 \text{ nm ROT}$, $\lambda_{123} = 699 \text{ nm GRÜN}$, $\lambda_{122} = 582 \text{ nm BLAU}$ zu einer neuen, nach dem längerwelligen Ende des Spektrum hin verschobenen trichromatischen RGB-Gleichgewichtslage, die die neue
- 10 Weiß-Norm bildet. In dem Produkt aus variabler spektraler Energieverteilung im Beleuchtungslicht und konstantem Tripel der Gauß'-kurven resultieren die neuen Verteilungen der spektralen Helligkeitswerte in den RGB-Beugungsordnungen, wie sie in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Sichtbare Spektrum Wellen- länge (nm)	Spektrale Intensität d. Beleuchtung Rot (T 3)	Spektrale Helligkeitswerte			
		122	123	111	Summe
		BLAU 582 nm	GRÜN 699 nm	ROT 728 nm	
490	700	1			1
500	800	4			4
510	820	17			17
520	880	56			56
530	920	158			158
540	950	371			371
550	970	724	1		725
560	950	1138	3		1141
570	1000	1619	5	1	1625
580	1000	1840	7	3	1850
590	1100	1936	17	5	1958
600	1200	1698	39	6	1743
610	1200	1149	77	13	1239
620	1300	707	151	31	889
630	1300	339	257	61	657
640	1300	137	404	113	654
650	1400	50	639	211	900
660	1500	16	935	367	1318
670	1350	3	1071	500	1574
680	1350	1	1269	710	1980
690	1350		1402	943	2345
700	1350		1440	1173	2613
710	1350		1379	1365	2744
720	1350		1230	1489	2719
730	1350		1021	1519	2540
740	1350		789	1449	2238
750	1350		568	1295	1863
760	1350		381	1084	1465
Sum	32790	11964	13085	12338	37387
%	100	32	35	33	100

- 5 Der in Fig.4 dargestellte resonatorische Adaptationsvorgang beginnt mit einem Ungleichgewicht in den RGB-Beugungsordnungen bei 43% R, 39% G, 18% B, das durch den plötzlichen Wechsel von der weißen zur roten Beleuchtung ausgelöst wurde. Allmählich fortschreitende 3D-gitteroptische Resonanz mit längeren λ_{111} -Wellenlängen führt letztendlich zu der chromatischen Gitterkonstantenstimmung auf $\lambda_{111} = 728 \text{ nm}$ ROT und damit zu dem neuen RGB-Gleichgewicht mit 33% R, 35% G und 32% B.

Fig.5 und Fig.6 zeigen in gleicher Weise die 3D-gitteroptische Adaptation an eine blaue Beleuchtung über eine chromatische Stimmung der drei Gitterkonstanten auf $\lambda_{111} = 513$ nm ROT, $\lambda_{123} = 492$ nm GRÜN, $\lambda_{122} = 410$ nm BLAU zu einer neuen, nach dem kurzwelligen Ende des Spektrum hin verschobenen, trichromatischen RGB-Gleichgewichtslage, die die neue Weiß-Norm bildet. In dem Produkt aus variabler spektraler Energieverteilung im Beleuchtungslicht und konstantem Tripel der Gauß'-kurven resultieren die neuen Verteilungen der spektralen Helligkeitswerte in den RGB-Beugungsordnungen, wie sie in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Sichtbare Spektrum Wellen- länge (nm)	Spektrale Intensität d. Beleuchtung Blau (T 1)	Spektrale Helligkeitswerte			Summe RGB
		122 BLAU 410 nm	123 GRÜN 492 nm	111 ROT 513 nm	
400	870	1304	47	15	1366
410	900	1481	91	32	1604
420	910	1384	159	62	1605
430	850	1004	241	103	1348
440	810	625	346	164	1135
450	850	360	509	271	1140
460	880	172	688	411	1271
470	800	61	760	513	1334
480	750	18	807	619	1444
490	700	5	795	695	1495
500	620	1	692	693	1386
510	550		561	648	1209
520	500		435	582	1017
530	480		331	516	847
540	460		234	428	662
550	420		147	315	462
560	380		85	216	301
570	340		45	137	182
580	320		24	86	110
590	310		12	51	63
600	300		5	29	34
610	280		2	15	17
620	280		1	8	9
630	250			3	3
640	240			1	1
650	230			1	1
Summe	14280	6415	7017	6614	20046
%	100	32	35	33	100

- Der in Fig.6 dargestellte resonatorische Adaptationsvorgang beginnt mit einem Ungleichgewicht in den RGB-Beugungsordnungen bei 24% R, 28% G, 48% B, das durch den plötzlichen Wechsel von der weißen zur blauen Beleuchtung ausgelöst wurde. Allmählich fortschreitende 3D-gitteroptische Resonanz mit kürzeren λ_{111} -Wellenlängen führt letztendlich zu der chromatischen Gitterkonstantenstimmung auf $\lambda_{111} = 513 \text{ nm}$ ROT und damit zu dem neuen RGB-Gleichgewicht 32% R, 35% G, 33% B.

- Der resonatorische Adaptationsvorgang führt selbstverständlich auch zu einer geometrischen Verschiebung der Lage der Beugungsordnungen im Beugungsbild und damit in Bezug auf die fotoelektrischen Empfänger. Diese Verschiebung bleibt aber immer im
- 5 Rahmen der Ausdehnung der Empfängerflächen.

Patentansprüche

- 5 1) Gitteroptischer Sensor mit einem einen Objektraum abbildenden Objektiv (1), einem diffraktiven hexagonalen 3D-gitteroptischen Modulator (4) in der Bildebene (5) des Objektivs (1), einer
10 entsprechend den zentrosymmetrisch trichromatischen Beugungsordnungen (R,G,B) im Nahfeld hinter dem Modulator (4) angeordneten fotoelektrischen Empfängeranordnung (8) und einer Auswerteeinrichtung für die von den einzelnen Empfängern (8) erzeugten elektrischen Signale, dadurch gekennzeichnet, daß in der Pupillenebene des Objektivs (1) oder einer dazu konjugierten
15 Pupillenebene mindestens eine lichtstreuende Scheibe (9) angeordnet ist.
- 2) Gitteroptischer Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtstreuende Scheibe (9) eine Gitterstruktur aufweist.
- 15 3) Gitteroptischer Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Streucharakteristik der Scheibe (9) so ausgewählt ist, daß ein Bild des Objektraumes mit gleichmäßig überlagerter Untergrundstrahlung aus dem Objektraum entsteht.
- 20 4) Gitteroptischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die spektrale Durchlässigkeit des Objektivs (1), der Streuscheibe (9) und des Modulators (4) auf den sichtbaren Bereich elektromagnetischer Strahlung begrenzt ist.

- 5) Gitteroptischer Sensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die spektrale Durchlässigkeit auf den Wellenlängenbereich 380 – 780 nm begrenzt ist.
- 5 6) Gitteroptischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Empfänger (8) auf gleiche spektrale Empfindlichkeit für eine weißes Licht emittierende Strahlungsquelle (3) eingestellt sind.
- 10 7) Gitteroptischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die derselben chromatischen Beugungsordnung (R,G,B) im trichromatischen Beugungsbild (6) zugeordneten Empfänger (8) zur Bildung eines lokalen chromatisch-additiven Helligkeitswertes (10, 10') zusammengeschaltet sind.
- 15 8) Gitteroptischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinrichtung eine Vergleichsanordnung (12) zur Ermittlung des trichromatischen Beugungsbildes (6) mit bester Übereinstimmung der lokalen chromatisch-additiven Helligkeitswerte (10, 10') enthält.
- 20 9) Gitteroptischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die einem trichromatischen Beugungsbild (6) zugeordneten Empfänger (8) zur Bildung eines lokalen trichromatisch-additiven Helligkeitswertes (11, 11') zusammengeschaltet sind.
- 25 10) Gitteroptischer Sensor nach Anspruch 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinrichtung einen Weiß-Norm-Bildner (13) enthält, dessen Ausgangssignal jeweils dem lokalen Beugungsbild (6) mit bester Übereinstimmung der chromatisch-additiven Helligkeitswerte (10, 10') und gleichzeitig maximalem trichromatisch-additivem Helligkeitswert (11, 11') zugeordnet ist.

- 11) Gitteroptischer Sensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,
daß ein Adapter (16) zur Veränderung der 3D-Gitterkonstanten des
Modulators (4) in Abhängigkeit von einer Veränderung der
Übereinstimmung der chromatisch-additiven Helligkeitswerte (10,
10') des das Weiß-Norm-Signal bildenden Beugungsbildes (6)
5 vorgesehen ist.
- 12) Gitteroptischer Sensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,
daß der Adapter (16) eine auf den Modulator (4) gerichtete
thermische Strahlungsquelle (17) enthält.
- 10 13) Gitteroptischer Sensor nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,
daß dem Adapter (16) ein Regler zugeordnet ist, der die
Strahlungsintensität der thermischen Strahlungsquelle (17) bei
Ermittlung eines neuen Weiß-Norm-Signals konstant hält.
- 14) Gitteroptischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
15 dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinrichtung einen
Farbwert-Bildner (14) enthält, dessen Ausgangssignal jeweils der
Summe der auf das Weiß-Norm-Signal bezogenen lokalen
chromatisch-additiven Helligkeitswerte (10, 10') eines
Beugungsbildes (6) entspricht.
- 20 15) Verfahren zur Erzeugung eines Weiß-Norm-Signals mit einem
gitteroptischen Sensor, der ein einen Objektraum abbildendes
Objektiv, einen diffraktiven hexagonalen 3D-gitteroptischen
Modulator in der Bildebene des Objektivs, eine entsprechend den
zentrosymmetrisch trichromatischen Beugungsordnungen im
25 Nahfeld hinter dem Modulator angeordnete fotoelektrische
Empfängeranordnung und eine Auswerteeinrichtung für die von den
einzelnen Empfängern erzeugten elektrischen Signale aufweist,
dadurch gekennzeichnet, daß durch diffuse Streuung in der Pupille

5 des abbildenden Objektivs oder in einer dazu konjugierten Ebene in der Bildebene eine dem Objektraum zugeordnete inkohärente Untergrundstrahlung überlagert wird und aus dem einem nicht-farbigem Teil des Objektraumes zugeordneten Beugungsbild mit gleichen chromatisch-additiven Helligkeitswerten und maximalem trichromatisch-additivem Helligkeitswert das Weiß-Norm-Signal gebildet wird.

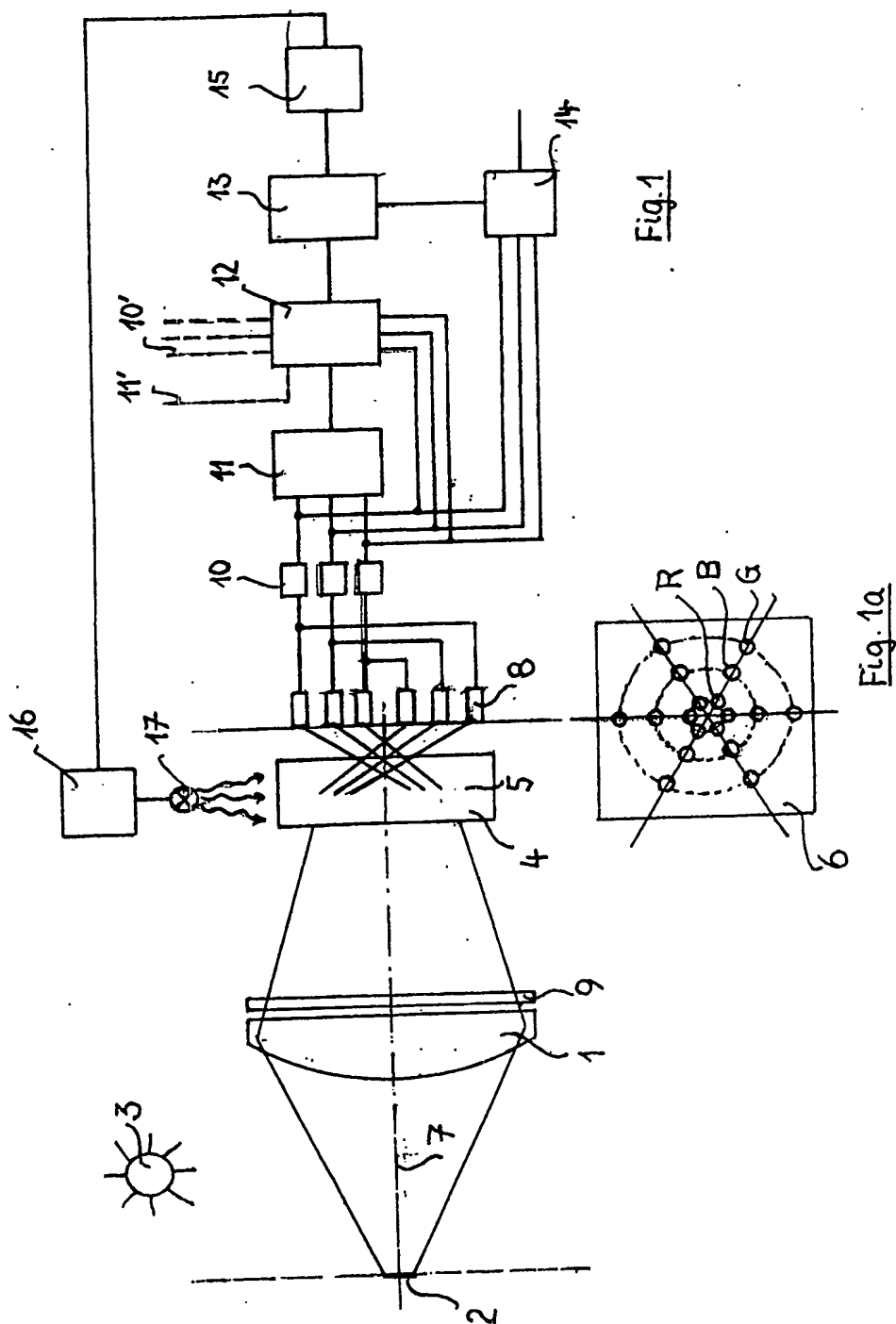
10 16) Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei Veränderung der Beleuchtung des Objektraumes die Gitterkonstanten des Modulators durch thermische Beeinflussung solange verändert werden, bis sich im trichromatischen Beugungsbild eines nicht-farbigem Teils des Objektraumes ein neues Weiß-Norm-Signal ergibt.

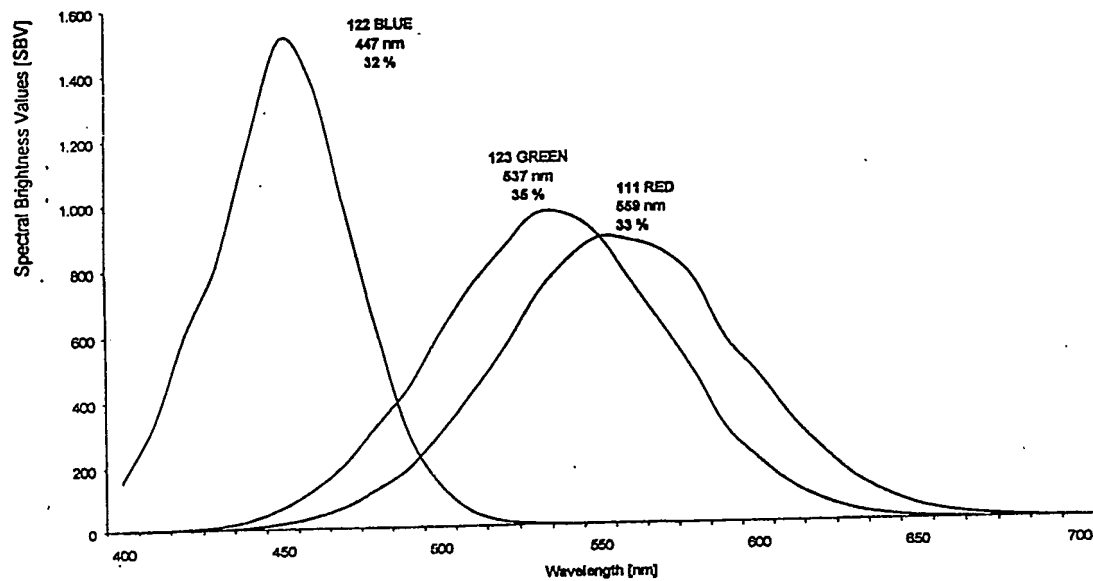
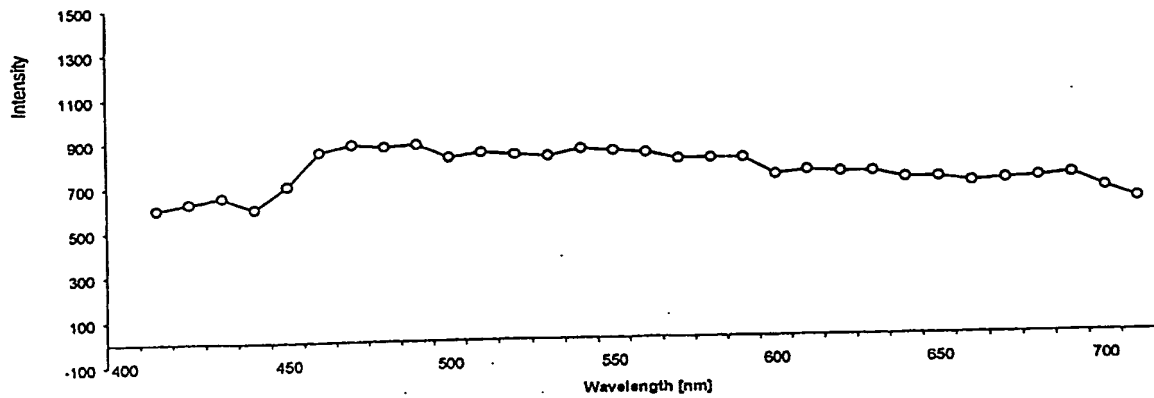
15 17) Verfahren nach einem der Ansprüche 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung eines Farbwert-Signals aus dem einem farbigen Teil des Objektraumes zugeordneten Beugungsbild die Summe der auf ein Weiß-Norm-Signal bezogenen chromatisch-additiven Helligkeitswerte gebildet wird.

Zusammenfassung

Ein gitteroptischer Sensor mit einem einen Objektraum abbildenden
Objektiv (1), einem diffraktiven hexagonalen 3D-gitteroptischen
Modulator (4) in der Bildebene (5) des Objektivs (1), einer entsprechend
5 den zentrosymmetrisch trichromatischen Beugungsordnungen (R,G,B)
im Nahfeld hinter dem Modulator (4) angeordneten fotoelektrischen
Empfängeranordnung (8) und einer Auswerteeinrichtung für die von den
einzelnen Empfängern (8) erzeugten elektrischen Signale zeichnet sich
dadurch aus, daß in der Pupillenebene des Objektivs (1) oder einer
10 dazu konjugierten Pupillenebene mindestens eine lichtstreuende
Scheibe (9) angeordnet ist.

(Figur 1)



Fig.2

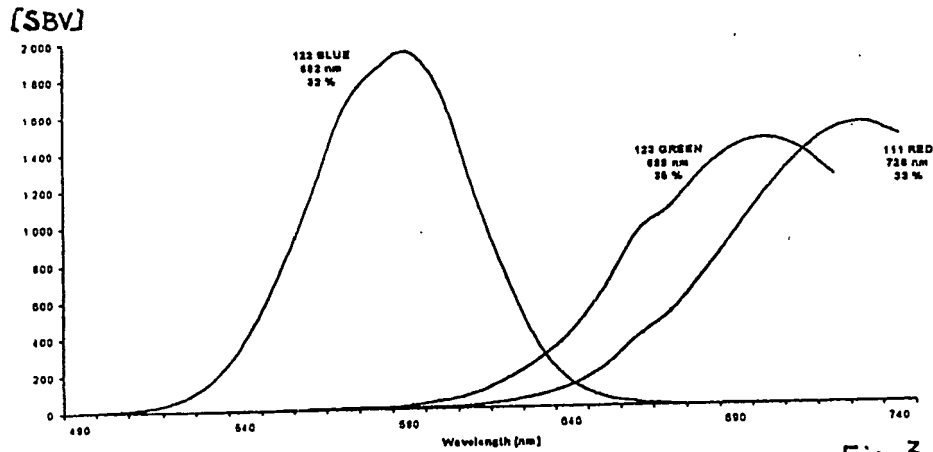
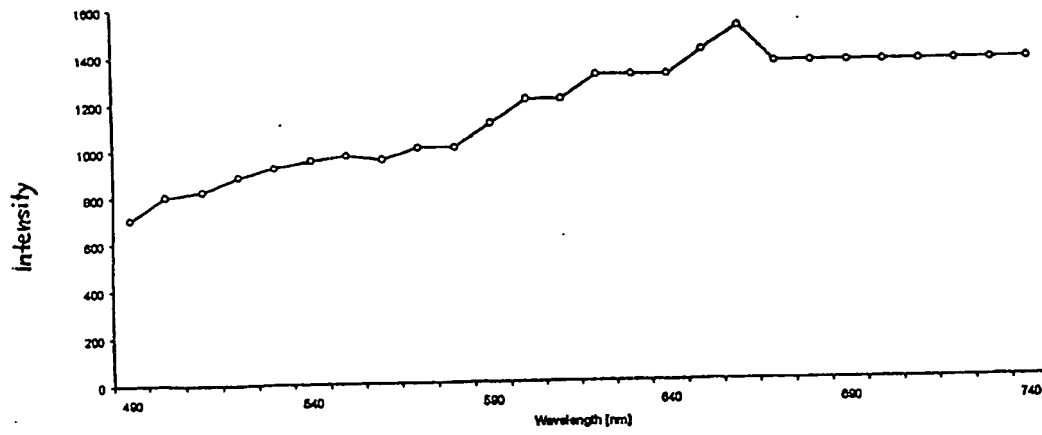


Fig. 3

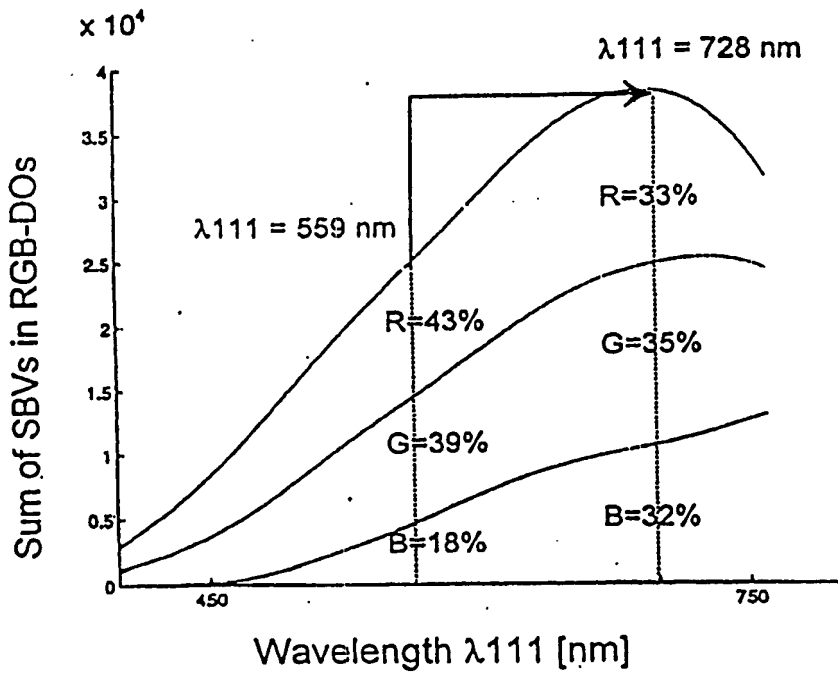


Fig. 4

4/4

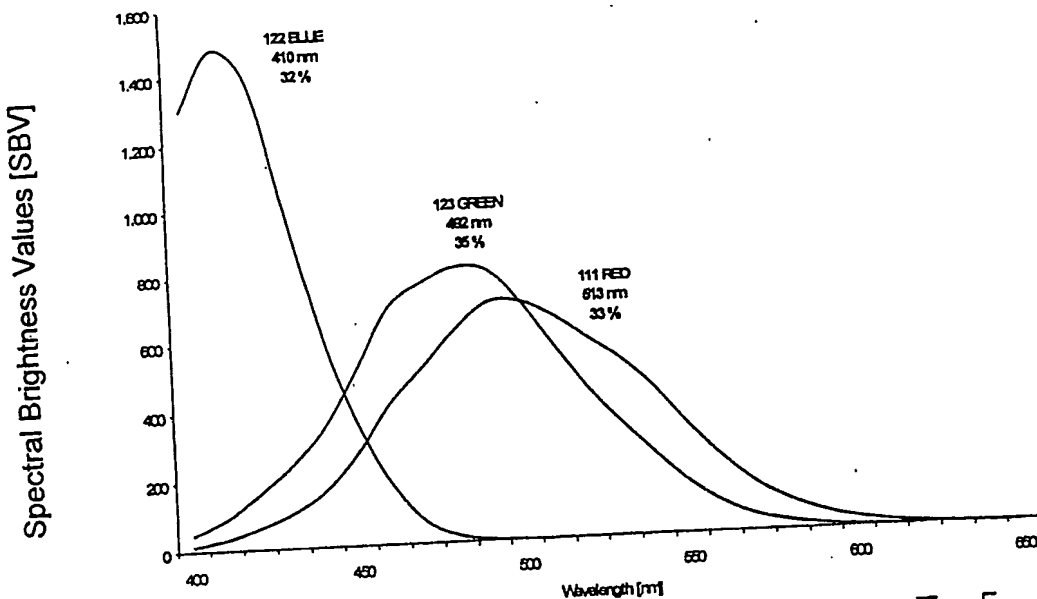
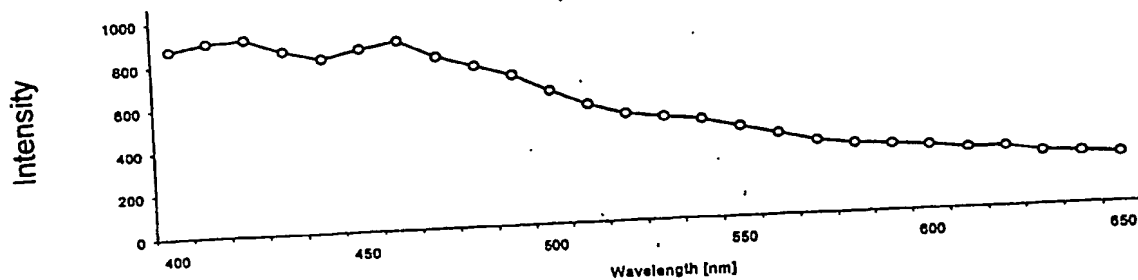


Fig. 5

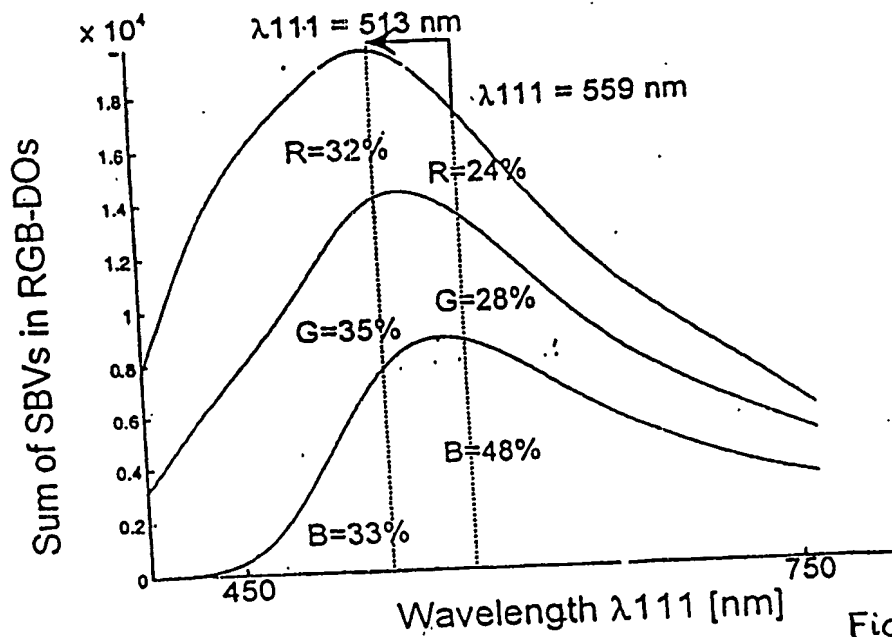


Fig. 6